KKU Engineering Journal
http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/

การประยุกต์ฮิวริสติกอัลกอริทึมในการจัดตารางการผลิตในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

Application of heuristics for scheduling problem hard disk drive manufacturing

พิลรดา ปิ่นทองคำ และ วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร*
Pinrada Pinthongkum and Wuthichai Wongthatsanekorn*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12121

Received December 2011
Accepted June2012

บทคัดย่อ

ในระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนานที่ไม่สัมพันธ์กันในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ งานแต่ละขั้นตอนสามารถเลือกทำบนเครื่องจักรได้มากกว่าหนึ่งเครื่อง โดยแต่ละเครื่องมีความสามารถในการผลิตที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการจัดตารางการผลิตเพื่อให้เวลาเสร็จสิ้นและเวลางานเสร็จล่าช้ารวมน้อยที่สุด โดยประยุกต์ใช้วิธีหิ่งห้อยและเปรียบเทียบกับการวางแผนการผลิตรูปแบบเดิมซึ่งเป็นการวางแผนการผลิตแบบสุ่ม พร้อมทั้งทำการทดลองเปรียบเทียบหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดโดยอ้างอิงจากค่าปัจจัยจากผลงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งมีลักษณะรูปแบบการผลิตคล้ายคลึงกัน นอกไปจากนี้ยังได้เปรียบเทียบขั้นตอนการเคลื่อนที่ของหิ่งห้อยจำนวน 2 วิธี ได้แก่ วิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งและการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง ผลการทดลองพบว่าควรกำหนดค่าปัจจัยของจำนวนหิ่งห้อยคูณด้วยจำนวนรอบการค้นหาคำตอบไว้ที่ 100*25 ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของแสงไว้ที่ 0.1 ปัจจัยค่าความน่าดึงดูดสูงสุดไว้ที่ 1 และปัจจัยค่าของการสุ่มไว้ที่ 1 ส่วนประสิทธิภาพของวิธีการปรับปรุงการเคลื่อนที่ของทั้งสองวิธี พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในทุกๆ ปัญหา แม้ว่าจำนวนคำตอบทั้งหมดจะมีขนาดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดีสำหรับปัญหาขนาดกลางและปัญหาขนาดใหญ่ การสลับเปลี่ยนตำแหน่งให้ค่าเวลาปิดงานรวมของระบบที่น้อยกว่าการปรับเปลี่ยนตำแหน่งเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเดิมพบว่าวิธีหิ่งห้อยมีประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบมากกว่าการวางแผนการผลิตแบบเดิมและใช้ระยะเวลาในการหาค่าคำตอบน้อยกว่า

คำสำคัญ : เวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด วิธีหิ่งห้อย ระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนานที่ไม่สัมพันธ์

Abstract

The challenge in unrelated parallel machine scheduling problem of hard disk drive (HDD) industry is to determine the optimal job sequence that minimizes the makespan. Each job can be performed by more than one machine and each machine has different capacity. This research offers the methodology for solving the unrelated parallel machine scheduling to optimize the makespan and tardiness. This problem is very difficult to solve by conventional mathematical programming. Hence, this research applies Firefly Algorithm to solve the problem. The experiment was conducted to find the suitable parameters for the scheduling problem based on past studies. In addition, two enhancement techniques which are swap operator and adjustment operator are studied to improve the performance of FA. The results show that nG should be set to 100*25, γ to 0.1, β_0 to 1 and α_0 to 1, respectively.

*Corresponding author. Tel.:+66-2-5643-0819 ext. 3038, 3086
Email address: ppumjai@engr.tu.ac.th

Also, SO method yield slightly better makespan than the AO method for solving the medium and large size problems. When the results are compared with the original method, the proposed method could solve the case study problem with less computational effort.

Keyword: Makespan, Firefly algorithm, Unrelated parallel machine, Scheduling problem

1. บทนำ

กระบวนการผลิตอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนั้นเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และมีหลายขั้นตอน ทั้งยังมีเครื่องจักรจำนวนมาก และมีระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนานที่ไม่สัมพันธ์กัน นอกจากนี้กำลังการผลิตของสายการผลิตแตกต่างกันตามชนิดของผลิตภัณฑ์และมีความหลากหลายและมีข้อจำกัดในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องการจัดตารางการผลิตและวิธีการจัดลำดับงานเพื่อพัฒนาโปรแกรมการวางแผนการผลิตโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าเวลาปิดงานและทำให้ความสูญเปล่าของกำลังการผลิตมีค่าน้อยที่สุด จากการศึกษาผลงานที่ผ่านมาพบว่า วิธีหิ่งห้อย (Firefly Algorithm, FA) เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อนและการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด [4-6] จึงได้ประยุกต์วิธีดังกล่าวในการหาค่าคำตอบ โดยได้เปรียบเทียบวิธีการดังกล่าวกับการวางแผนการผลิตแบบเดิม และทำการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองที่ 1 การทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรหรือปัจจัยที่มีผลกระทบ (Screeing Experiment) ต่อประสิทธิภาพที่การทำงาน การทดลองที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านคุณภาพของคำตอบระหว่างสองวิธีการที่ใช้ปรับปรุงวิธีหิ่งห้อย นั่นคือ วิธีการสลับตัวปฏิบัติการ (Swap Operator, SO) และ วิธีการปรับแก้ตัวปฏิบัติการ (Adjustment Operator, AO) โดยใช้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้ในการทดลองที่ 1 ในการประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตของงานวิจัยนี้

1.1 ลักษณะของปัญหาการจัดตารางการผลิต

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษารูปแบบการจัดลำดับการผลิตสำหรับ n งาน โดยมีงานสองประเภทคือ งานที่มาจากชิ้นส่วนใหม่ (งาน i) และงานที่มาจากชิ้นส่วนของงานขากลับ (งาน j) ซึ่งถูกจัดตารางบนเครื่องจักร M เครื่อง (1,2,3,...,M) มีการตัดสินใจสุ่มงานที่จะดำเนินการและสุ่มเครื่องจักรเพื่อผลิตงานนั้นๆ โดยเครื่องจักร คือ บางงานไม่สามารถผลิตบนเครื่องจักรบางเครื่องได้ การจัดตารางการผลิตพิจารณาเมื่อเครื่องจักรมีการเปลี่ยนการผลิตจากงาน i เป็น j จะมีเวลาติดตั้งเครื่องจักร $T(i,j)=0$ และมีสมมติฐานว่างานที่ดำเนินงานเริ่มต้นบนแต่ละเครื่องจักรไม่มีเวลาติดตั้งเครื่องจักร คือ $T(0,i)=0$ เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรของโรงงานกรณีศึกษานี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงตามชนิดของโมเดล ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 9 ผลิตภัณฑ์ และประเภทของงานที่ทำบนเครื่องจักรจะแบ่งออกเป็นสอง ประเภท ได้แก่ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตงานที่มาจากชิ้นส่วนใหม่ และเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตงานจากชิ้นส่วนของงานขากลับ ประสิทธิภาพของกำลังการผลิตขึ้นอยู่กับความสามารถและทักษะของพนักงานที่ประกอบบนสายการผลิตนั้นๆ โดยค่ากำลังการผลิตที่นำมาคำนวณสามารถหาได้จากการคูณค่าสัมประสิทธิ์ของทักษะการทำงานของพนักงาน ด้วยชั่วโมงการทำงาน (21 ชั่วโมงต่อวัน) และจำนวนสายการผลิตอาจถูกจำกัดด้วยเงื่อนไขของทรัพยากรของอุปกรณ์เครื่องมือที่มีอยู่อย่างจำกัด การจัดตารางการผลิตนี้เพื่อที่จะทำให้เวลาในการผลิตรวมของระบบ (Makespan) มีค่าต่ำที่สุด

1.2 การแก้ปัญหาโดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

ในการสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาลำดับการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในสายการผลิตที่เครื่องจักรจัดเรียงแบบขนาน กรณีลำดับการผลิตมีผลต่อเวลาติดตั้งเครื่องจักร และมีข้อจำกัดของเครื่องจักร คือ บางงานไม่สามารถผลิตบนเครื่องจักรบางเครื่องได้ เมื่อพิจารณาการจัดตารางการผลิตของงานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เวลาในการผลิตรวมของระบบ (Makespan) มีค่าต่ำที่สุด โดยปัญหาของ

งานวิจัยนี้มีรูปแบบสมการทางคณิตศาสตรที่ซับซ้อนโดยงานที่ผลิตแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ งานที่มาจากชิ้นส่วนใหม่และชิ้นส่วนที่มาจากงานขากลับ งานแต่ละงานอาจมีความแตกต่างในเรื่องของรายละเอียดของโมเดล ชนิดผลิตภัณฑ์ จำนวนหัวอ่านซึ่งรายละเอียดเหล่านี้ส่งผลต่อค่าเวลาปรับตั้งเครื่องจักรที่เปลี่ยนแปลงไปโดยกำลังการผลิตของงานแต่ประเภทมีสายการประกอบที่แตกต่างกันและมีกำลังการผลิตที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ชนิดของงาน และจำนวนของหัวอ่าน เป็นต้น

พารามิเตอร์

i , j = ลำดับของงานแต่ละงาน i , j ∈ {1, 2, . . .,n}
m = ดัชนีของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง, m ∈ {1, 2,.., M}
J = งานทั้งหมดที่ต้องทำ (หน่วย: งาน)
M= เครื่องจักรทั้งหมด (หน่วย: เครื่อง)
P (j,m) = ค่าเวลาการดำเนินงานแต่ละงานที่ j ที่ทำงานบนเครื่องจักร m (ชิ้น/ วินาที)
F (j,m) = เวลาของงานทั้งหมดของงานที่ j ที่ทำบนเครื่องจักร m
W (i,j,m) = 1: เมื่องาน i สามารถผลิตบนเครื่องจักร m หรือมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ
k = ลำดับของผลิตภัณฑ์ที่

$$k^{th}, k = \{1,2,3,...P\}$$

ตัวแปรตัดสินใจ

$c\pi k$ = เวลาที่งานสุดท้ายออกจากระบบหรือเวลารวมของระบบที่ทำงานสุดท้ายเสร็จในรูปแบบการจัดที่ K (วินาที)
$\pi(k,m)$ = กำลังการผลิตของเครื่องจักรที่ m (ชิ้น /วินาที)
CPm = รูปแบบการจัดเรียงที่ K บนการทำงานของเครื่องจักร m
$T(i,j,m)$ = เวลาของเครื่องจักร m ในการเปลี่ยนรูปแบบการจัดเรียงของงาน ลำดับที่ i ไปยังงานลำดับที่ j (วินาที)
$V(j,m)$ = ปริมาณของงาน j ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักร m (ชิ้น)
$CPR(\pi K)$ =กำลังการผลิตที่เหลือในการจัดเรียงรูปแบบการผลิตที่ K
T = เวลาการดำเนินงาน (วินาที)
$X(i,j,m)$ = 1: เมื่องานลำดับที่ i ถูกผลิตก่อนงานลำดับที่ j บนเครื่องจักร m หรือมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อกรณีอื่นๆ
Y (m) = 1 เมื่อเครื่องจักร m ถูกใช้งาน หรือมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

สมการทางคณิตศาสตร์

สมการวัตถุประสงค์

Minimize: $Z1 = C(\pi k)$ (1)

สมการเงื่อนไข

$c(\pi k) \geq$ F (j,m) (2)

เมื่อค่า j ∈ {1, 2, 3... n} และ m ∈ {1,2,3,…M}

F (0) = 0 (3)

$F(j,m)-F(i,m)+\{M\times[1-(X(i,j,m)\times W((i,m)\times W((j,m)]\} \geq$ P(j,m)+T(i,j,m) (4)

เมื่อ i,j = {0,1,2,,n} สำหรับค่า m={1,2,3,..,M(s)}

X (i, j, m) =0 (5)

เมื่อ i,j = {0,1,2,,n} สำหรับค่า m={1,2,3,..,M(s)}

$c\pi k \leq$ HW (6)

$$\{\sum_{i=0}^{n}[\,X(j,i,m)\times W((i,m)\times W((j,m)\,]\} - \{\sum_{j=0}^{n}[X(i,j,m)\times W((i,m)\times W((j,m)\,]\} = \mathbf{0} \quad (7)$$

เมื่อ i, j = {0, 1, 2,… n} และ m ∈ [1,28]

2. วิธีการการวิจัย

2.1 การประยุกต์วิธีหิ่งห้อย ในการแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิต

เนื่องจากลักษณะปัญหาของงานวิจัยนี้มีความซับซ้อนค่อนข้างมาก การแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ไม่สามารถให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ในระยะเวลาที่จำกัด เนื่องจากจำนวนตัวแปรและสมการเงื่อนไขมีจำนวนมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้หาค่าที่เหมาะสมในการจัดตารางการผลิตด้วยการประมาณค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยการประยุกต์วิธีหิ่งห้อย โดยมีขั้นตอนการเคลื่อนที่ (Movement): เปรียบเทียบความเข้มข้นแสงของหิ่งห้อยทั้ง 2 ตัว ถ้าค่าเวลาปิดงานรวมของระบบจากหิ่งห้อยตัวที่ 1 มีค่าน้อยกว่าหิ่งห้อยตัวที่ 2 จะทำการขยับหิ่งห้อยตัวที่ 2 ไปหาหิ่งห้อยตัวที่ 1 โดยหิ่งห้อยตัวที่ 2 ไม่มีการเคลื่อนที่ แต่ถ้าเกิดกรณีค่าเวลาปิดงานรวมของระบบของแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน หิ่งห้อยตัวที่ 2 จะทำการเคลื่อนที่แบบสุ่ม ดังสมการ (8)

$$x_i = x_i + (\beta_0 e^{-\gamma r^2} + \alpha_0 (rand - 0.5))(x_j - x_i) \quad (8)$$

ผู้วิจัยได้ทำการเลือกวิธีการปรับปรุง 2 วิธี ดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1: Swap Operator (SO): เปลี่ยนตำแหน่งชิ้นงานของหิ่งห้อยที่มีค่าความเข้มข้นแสงมากกับหิ่งห้อยที่มีความเข้มข้นแสงน้อยกว่า ดังสมการ (9)

$$SO1(1,3) = \{a,c,e,b,d\} + (1,3) = \{a,b,e,c,d\} \quad (9)$$

วิธีที่ 2: Adjustment Operator (AO): วิธีการนี้คล้ายกับวิธีการของ SO แต่แตกต่างกันที่ AO จะหาค่ามาแทรกไว้ในตำแหน่งที่ต้องการ แล้วผลักค่าที่อยู่ตั้งแต่ตำแหน่งที่แทรก ให้ขยับไปด้านหลัง วิธีการ AO มีขั้นตอนดังสมการ (10)

$$S' = S = AO1 = \{a,c,e,b,d\} + (d,1) = \{a,d,e,c,b\} \quad (10)$$

หมายเหตุ

n หมายถึง จำนวน หิ่งห้อย

MaxGeneration หมายถึง จำนวนรอบในการค้นหา

β_0 หมายถึง ค่าความน่าดึงดูดสูงสุด

γ หมายถึง สัมประสิทธิ์การดูดซับของแสง

α_0 หมายถึง ค่าที่ใช้ในการสุ่ม

2.2 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติปัจจัยของวิธีหิ่งห้อยที่ถูกพิจารณา มีทั้งหมด 6 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1: ขนาดของประชากรหรือจำนวนหิ่งห้อยคูณด้วยจำนวนรอบการค้นหาคำตอบ (Number of Fireflies * MaxGeneration:nG) โดยอ้างอิงจากการศึกษาของสุภัคกานดา ชมพูมิ่ง (2552) ซึ่งกำหนดค่าไว้ที่ 2500 ดังนั้นในการทดลองนี้จึงกำหนดค่าไว้เท่ากัน ซึ่งแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 25*100, 50*50 และ 100*25 ตามลำดับ

ปัจจัยที่ 2: ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของแสง (γ) โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Yang (2008) แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 0.1, 5 และ 10 ตามลำดับ

ปัจจัยที่ 3: ค่าความน่าดึงดูดสูงสุด (β_0) โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Lukasik และ Zak (2009) แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 0, 0.5 และ 1 ตามลำดับ

ปัจจัยที่ 4: ค่าของการสุ่ม (α_0) โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Yang (2008) และ Lukasik และ Zak (2009) แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 0, 0.5 และ 1

การกำหนดค่าของปัจจัยสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตโดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัจจัยที่ 5: Working Time (Hour/Day) เป็นระยะเวลาในการดำเนินงาน กำหนดค่าปัจจัยเท่ากับ 24 ชั่วโมงต่อวัน

ปัจจัยที่ 6: Objective Function ค่าวัตถุประสงค์ คือ เวลาปิดรวมที่น้อยที่สุดที่ได้จากการคำนวณผลรวมของค่าเวลาติดตั้งเครื่องจักร ค่าเวลาในการดำเนินงาน ค่าเวลาหยุดทำงานของเครื่องจักรและค่าเวลาเริ่มต้นของงาน

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ซึ่งแต่ละการทดลองมีวัตถุประสงค์ของการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 ทำการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรหรือปัจจัยที่มีผลกระทบ (Screening Experiment) ต่อประสิทธิภาพที่การทำงานของวิธีหิ่งห้อยสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต โดยใช้วิธีการในการปรับปรุงการเคลื่อนที่ของหิ่งห้อย คือ AO และ SO

การทดลองที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่การทำงานในด้านคุณภาพที่ของคำตอบ ระหว่าง 2 วิธีการที่ใช้ปรับปรุงวิธีหิ่งห้อย ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต นั่นคือ วิธีการ AO และ SO โดยใช้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากการศึกษาที่ได้ในการทดลองที่ 1 มาใช้ทำการทดลอง โดยทำการทดสอบกับปัญหา 2 ขนาด คือ ขนาดกลาง (Medium) ขนาดใหญ่ (Large) (Pongcharoen, 2001) ในการทดสอบ แต่ละการทดลองได้ทำการทดลอง 81 ครั้ง ต่อการทำซ้ำ 1 ครั้ง ดังนั้นถ้ากำหนดให้มีการทำซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้งการทดลองทั้ง 2 การทดลองนี้จะนำผลของการทดลองที่ได้ในแต่ละวิธีมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ในรูปแบบการจำลองเชิงเส้นทั่วไป (General Linear Model)

กำหนดให้

w = ชนิดของงานที่ประกอบในแต่ละขั้นตอน โดยที่ $w=\{1,2\}$

$w=1$ ประเภทงานที่ประกอบจากชิ้นส่วนใหม่

$w=2$ ประเภทงานที่ประกอบจากชิ้นส่วนของงานขากลับ

k = ลำดับของผลิตภัณฑ์ที่ $k^{th}, k=\{1,2,3,...P\}$

i, j = ลำดับของงาน ของผลิตภัณฑ์ k ที่ i^{th} โดยที่ เป็นงานที่ถูกผลิตก่อนหน้างานลำดับ $j^{th}, j=\{1,2,3,...O\}$

y = ดัชนี (Index) ของชนิด Model ของผลิตภัณฑ์ k^{th} แต่ละชนิด

$SU^{I}_{k,w,y,j}$ = เวลาที่ติดตั้งของงานที่ j^{th} ของชนิด Model y ที่เกิดจากการประกอบงาน w ของผลิตภัณฑ์ k^{th} ของแผนก HAS (I) (นาที)

$SU^{II}_{k,w,y,j}$ = เวลาที่ติดตั้งของงานที่ j^{th} ของชนิด Model y ที่เกิดจากการประกอบงาน w ของผลิตภัณฑ์ k^{th} ของแผนกHDE (I) (นาที)

ตารางที่ 1 รายละเอียดของค่าเวลาติดตั้งเครื่องจักรของระบบการผลิตอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

กรณี	ชนิด	เวลา (นาที) $SU^{I}_{k,w,y,j}$ (นาที)	เวลา (นาที) $SU^{II}_{k,w,y,j}$ (นาที)
1	$k_i=k_j, w_i=w_j, y_i=y_j, i\neq j$	8	2
2	$k_i\neq k_j, w_i=w_j, y_i=y_j, i\neq j$	16	17
3	$k_i\neq k_j, w_i\neq w_j, y_i=y_j, i\neq j$	18	25
4	$k_i=k_j, w_i=w_j, y_i\neq y_j, i\neq j$	128	32
5	$k_i\neq k_j, w_i=w_j, y_i\neq y_j, i\neq j$	136	47
6	$k_i=k_j, w_i\neq w_j, y_i\neq y_j, i\neq j$	130	40
7	$k_i\neq k_j, w_i\neq w_j, y_i\neq y_j, i\neq j$	138	55

ตารางที่ 2 ข้อมูลของปัญหาที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต

ขนาดของปัญหา	กลาง
ชนิดของผลิตภัณฑ์	FB4&PTBLS
จำนวนผลิตภัณฑ์(P)	2
ประเภทของงาน	1
จำนวนชิ้นงาน/จำนวนโมเดล	500/5
จำนวนเครื่องจักร(M)	10

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ได้มีการนำผลการทดลองที่ได้จากวิธีการ SO มาพิจารณาผลกระทบที่ได้จากการกำหนดค่าปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ขนาดของประชากร ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของแสง (γ) ค่าความน่าดึงดูดสูงสุด(β_0) และค่าของการสุ่ม (α_0) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยสำหรับการประยุกต์ใช้วิธี FA โดยใช้วิธีการ SO ปัญหาขนาดกลาง (วินาที)

สามารถสรุปได้ว่า จำนวนหิ่งห้อยคูณด้วยจำนวนรอบการค้นหาคำตอบ (nG) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของแสง (γ) ค่าความน่าดึงดูดสูงสุด (β_0) และค่าของการสุ่ม (α_0) แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งได้จากการพิจารณาค่า P ที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 โดยการกำหนดค่าปัจจัยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะมีผลกระทบต่อคำตอบได้ ในส่วนของปัจจัยอื่นๆ ที่วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนพบว่า ค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นสรุปได้ว่า ปัจจัยนั้นๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยสำหรับการประยุกต์ใช้วิธี FA โดยใช้วิธีการ AO ปัญหาขนาดกลาง (วินาที)

จำนวนหิ่งห้อยคูณด้วยจำนวนรอบการค้นหาคำตอบ (nG) ค่าความน่าดึงดูดสูงสุด (β_0) และค่าของการสุ่ม (α_0) แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งได้จากการพิจารณาค่า P ที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 ซึ่งการกำหนดค่าปัจจัยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจะมีผลกระทบต่อคำตอบได้ ในส่วนของปัจจัยอื่นๆ ที่มีค่า P สูงกว่า 0.05 สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยนั้นๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.3 การทดสอบ Paired T-test ในการทดลองที่ 2 ของปัญหาขนาดกลาง

กำหนดให้

μ_{SO} คือ ค่าเฉลี่ยของค่าปรับที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตที่ได้จากวิธีการ SO

μ_{AO} คือ ค่าเฉลี่ยของค่าปรับที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตที่ได้จากวิธีการ AO

H_0: ค่าเฉลี่ยของค่าปรับที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตในการแก้ปัญหาขนาดกลางที่ได้จากวิธีการ SO มีค่าไม่แตกต่างกับค่าเฉลี่ยของค่าปรับที่ได้จากวิธีการ AO (H_0: $\mu_{SO} = \mu_{AO}$)

H_1: ค่าเฉลี่ยของค่าปรับที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตในการแก้ปัญหาขนาดกลางที่ได้จากวิธีการ SO มีค่าแตกต่างกับค่าเฉลี่ยของค่าปรับที่ได้จากวิธีการ AO (H_1 : $\mu_{SO} \neq \mu_{AO}$)

เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างการใช้วิธีการ SO กับ AO ของปัญหาขนาดกลาง พบว่าค่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.39 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่าทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อพิจารณาผลที่ได้จะพบว่า สำหรับปัญหาขนาดกลาง แม้ว่าจำนวนคำตอบทั้งหมดหรือพื้นที่ในการค้นหาคำตอบ (Solution Space) จะเพิ่มขึ้น แต่สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี FA ในปัญหาขนาดกลาง ไม่ว่าจะเปลี่ยนการปรับปรุงการเคลื่อนที่ด้วยวิธีใด ก็ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพที่ของตารางการผลิต

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ Paired T-test ระหว่างการใช้วิธีการ SO กับ AO ของปัญหาขนาดกลาง (วินาที)

กลุ่มประชากร	Mean	S.D.	t	P-value
SO	51,730.33	1,770.00	-0.92	0.39
AO	52,150.0 0	1,580.00		
95% CI for mean difference: (-1,320.858, 487.524)				

หมายเหตุ * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการปรับปรุงการเคลื่อนที่ของวิธี SO และ AO สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในทุกๆ ปัญหา แม้ว่าจำนวนคำตอบทั้งหมดจะมีขนาดเพิ่มขึ้น แต่สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีหิ่งห้อย ไม่ว่าจะเปลี่ยนการปรับปรุงการเคลื่อนที่เป็นแบบใด ก็ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพการจัดตารางการผลิต สำหรับปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ วิธีการ SO จะให้ค่าเวลาปิดงานรวมของระบบที่น้อยกว่าวิธีการ AO ซึ่งอาจเป็นผลมาจาก ลักษณะการทำงานของวิธีการ SO

ที่ทำการสลับค่าในพื้นที่การค้นหาคำตอบ (Solution Space) ที่มีไม่มาก ทำให้การสลับในแต่ละครั้งมีโอกาสพบค่าปรับที่น้อยที่สุดสูง จึงทำให้ได้ค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่าเล็กน้อย

ปัญหาการจัดตารางการผลิตของงานวิจัยนี้เป็นปัญหาขนาดใหญ่ วิธีการ FA ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลไม่มากนัก และให้ค่าคำตอบที่ได้ดีกว่าการจัดตารางการผลิตแบบเดิม ซึ่งหากการคำนวณดังกล่าวเป็นการคำนวณโดยอาศัยทักษะและความชำนาญของพนักงาน โดยไม่ได้ทำการประมวลผลด้วยการใช้โปรแกรม พบว่าเกิดความผิดพลาดค่อนข้างสูงและใช้ระยะเวลาในการออกแผนการผลิตแต่ละครั้งประมาณ 1-2 ชั่วโมง ซึ่งแนวคิดในเรื่องโปรแกรมการวางแผนการผลิตนี้สามารถลดระยะเวลาการทำงาน จำนวนพนักงานวางแผนการผลิต และช่วยให้การวางแผนการผลิตมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเวลาปิดรวมที่น้อยที่สุดของปัญหาขนาดใหญ่

หน่วย (ชั่วโมง)	แบบสุ่มธรรมดา	วิธีหิ่งห้อย	
		SO	AO
คำตอบที่ดีที่สุด (BSF)	43.12	31.07	31.84
ค่าเฉลี่ย	45.76	36.51	36.94
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3.89	3.60	3.67
%การปรับปรุง	-	27.94	26.15

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยอยากขอขอบพระคุณทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการช่วยเสนอแนะและปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยฉบับนี้ และงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และศูนย์เทคโนโลยีเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ โดยมีเลขที่สัญญา CPN-HR 08-02-51N นอกจากนี้ผู้วิจัยอยากขอขอบพระคุณบริษัทฮิตาชิโกลบอลสตอเรจ เทคโนโลยีส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลการวางแผนการผลิตและอบรมความรู้ในการวางแผนการผลิตและทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Balakrishnan, N., J.J Kanet and V. Sridharan. Early/tardy Scheduling with Sequence Dependent Setups on Uniform Parallel Machines. Computers Ops Res; 1999. (26):127-141.

[2] Cheng, R., M. Gen. Parallel Machine Scheduling Problems Using Memetic Algorithms. Computers ind. Eng; 1997. 33: 761-764.

[3] Conway, R.W., W.L. Maxwell and L.W. Miller. Theory of Scheduling. Addison-Wesley Publishing Company.

[4] Lukasik, S. and Zak, S. Firefly Algorithm for Continuous Constrained Optimization Tasks. Computational Collective Intelligence. Semantic Web, Social Networks and Multiagent Systems Lecture Notes in Computer Science, 2009, Volume 5796/2009, 97-106.

[5] X.-S. Yang, Harmony Search as a Metaheuristic Algorithm, in: Music-Inspired Harmony Search Algorithm: Theory and Applications (Editor Z. W. Geem), Studies in Computational Intelligence, Springer Berlin, 2009, vol. 191,pp. 1-14.

[6] X.-S. Yang, Firefly algorithms for multimodal optimiza-tion, in: Stochastic Algorithms: Foundations and Applications, SAGA 2009, Lecture Notes in Computer Sciences, Vol. 5792, pp. 169-178 (2009).